

# **DIE OBERFLÄCHENSTRÖMUNGEN DES SCHWARZEN MEERES**

---

**INAUGURAL-DISSERTATION**

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

**CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT IN KIEL**

VORGELEGT VON

**WALTHER WISSEMAN**

AUS BOPPARD AM RHEIN



---

**BERLIN 1906**

GEDRUCKT IN DER KÖNIGLICHEN HOFBUCHDRUCKEREI VON E. S. MITTLER & SOHN  
KOCHSTRASSE 68—71

**Rektoratsjahr 1905/6**

**Nr. 27.**

Zum Druck genehmigt

**Dr. Martius,**

z. Zt. Dekan.

① 2039

## Inhaltsübersicht.

### Einleitung.

#### I. Die Dichtigkeitsfläche.

1. Material für die Dichtigkeitsfläche.
2. Festlegung der Grenzfläche, der Doppelstrom im Marmara-Meer, den Dardanellen und dem Bosphorus.
3. Änderung des Resultates der Formel mit der Änderung des Normalwertes.
4. Tabelle für die mittleren Dichten und Niveauhöhen der einzelnen Stationen.
5. Erläuterungen zu vorstehender Tabelle.
6. Übersichtskarte der Niveauhöhen.
7. Die Dichtigkeitsfläche während der einzelnen Beobachtungsperioden.
8. Mittelwertkarte für die Dichtigkeitsfläche.

#### II. Die Windströmungen.

1. Isobarenkarte.
2. Richtung und Stärke des Windes.
3. Vergleich der aus der Isobarenkarte gefolgerten Windkarte mit der nach direkten Beobachtungen entworfenen.
4. Die Windströmungen.

#### III. Berechnung der Oberflächenströmungen mittels Wind- und Stromfläche.

1. Berechnung der Windfläche.
2. Stromfläche und Strömungen der Oberfläche.

#### IV. Die Oberflächenströmungen als Resultierende aus Dichte- und Windströmungen.

1. Die Dichteströmungen.
2. Konstruktion der Oberflächenströmungen mit Hilfe des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte.
3. Vervollständigung des Strombildes.
4. Die Karte der Oberflächenströmungen.

#### V. Vergleich der beiden Karten der Oberflächenströmungen.

1. Die Abweichungen beider Karten voneinander und Begründung dieser Erscheinung.
2. Der Weg zur Lösung des Problems.



In seinem Werke »Nordhavets Dybder, Temperatur og Stromninger« entwickelt der norwegische Meteorologe Mohn<sup>1)</sup> eine Methode, die aus den Dichte- und Windverhältnissen eines Meeres resultierenden Oberflächenströmungen zu berechnen. Sein Verfahren wurde bereits mit einigen Modifikationen von Engelhardt,<sup>2)</sup> Wegemann<sup>3)</sup> und Castens<sup>4)</sup> angewandt. In vorliegender Arbeit soll der Versuch gemacht werden, an der Hand der Mohnschen Theorie die Strömungen des Schwarzen Meeres zu berechnen.

### I. Die Dichtigkeitsfläche.

Als Material für die Herstellung der in der Theorie so genannten »Dichtigkeitsfläche« wurde ein Bericht benutzt, der unter dem Titel: »Résumé des observations hydrologiques faites dans la Mer Noire et dans la Mer d'Asof pendant les expéditions de 1890 et 1891« im Jahre 1899 veröffentlicht wurde. Vorgenannte Expeditionen dauerten vom 27. Juni bis zum 23. Juli 1890, vom 17. Mai bis zum 11. Juni und vom 4. bis zum 27. August 1891. Ihre Ergebnisse haben also für den Sommer Gültigkeit. Die von mir zu benutzenden Messungen und Untersuchungen wurden von den Herren Kapitänleutnant J. B. Spindler, dem Chef der Expeditionen, und Baron F. F. Wrangell<sup>5)</sup> angestellt. Die zahlenmäßigen Resultate sind in umfangreichen Tabellen und auf einer Anzahl von Karten und Profilen niedergelegt. Die Tabellen enthalten neben Ort und Zeit der Beobachtung im wesentlichen die Angaben der Temperatur, des Salzgehaltes und der daraus folgenden Dichte des Wassers in verschiedenen Tiefen einer und derselben Station.

Es handelt sich nun darum, die sogenannte »Grenzfläche« oder eigentlich die Grenzschicht festzulegen, die Ober- und Unterstrom voneinander trennt. Wie aus den Tabellen und ebenso aus den Profilen 4 bis 11 zu ersehen, nimmt die Temperatur von der Oberfläche an bis zu einer Tiefe von 45 bis 90 m rasch ab. Die Temperatur dieser Tiefe entspricht ungefähr der Oberflächentemperatur des Winters. Von da an abwärts nimmt sie langsam zu, und von etwa 550 m Tiefe an ist sie beinahe konstant. Der Salzgehalt, der von der Oberfläche an zunächst langsam steigt, zeigt eine starke Zunahme zwischen 55 und 730 m. Weiterhin wird dieselbe wieder geringer. Die verstärkte Zunahme des Salzgehaltes in der Schicht unterhalb 55 m hat zur Folge, daß trotz der Temperatursteigerung die Dichte unausgesetzt nach unten hin zunimmt, so daß Gleichgewicht vorhanden ist.

Gerade die eigenartige Schichtung der Temperaturen, in bezug auf welche das Schwarze Meer unter den größeren Meeresbecken wohl einzig dasteht, ist charakteristisch und in den daraus zu ziehenden Folgerungen interessant. Das

<sup>1)</sup> Mohn: Den Norske Nordhavs-Expedition 1876—1878. Nordhavets Dybder, Temperatur og Stromninger. Christiania 1887.

<sup>2)</sup> Engelhardt: Untersuchungen über die Strömungen der Ostsee, die Dichtigkeitsfläche. Inaug.-Diss. Kiel 1899.

<sup>3)</sup> Wegemann: Die Oberflächenströmungen des Nordatlantischen Ozeans nördlich von 50° N-Br. Inaug.-Diss. Kiel 1900.

<sup>4)</sup> Castens: Untersuchungen über die Strömungen des Atlantischen Ozeans, die Dichte- und Windverhältnisse. Inaug.-Diss. Kiel 1905.

<sup>5)</sup> Spindler u. Wrangell: Résumé des observations hydrologiques dans la Mer Noire et la Mer d'Asof pendant les expéditions de 1890 et 1891. St. Petersburg 1899.

warme, salzreiche und daher schwere Tiefenwasser entstammt offenbar dem Mittelländischen Meere und dringt von da ins Marmarameer und durch den Bosphorus ins Schwarze Meer ein. Es mögen hier die Beobachtungen zweier besonders charakteristischer Stationen aus der Nähe des Bosphorus Platz finden, wo das Meeresbecken noch relativ seicht ist, und daher die Gegensätze auf engem Raum um so stärker hervortreten:

Station..	Nr. 54 (1891)			Nr. 118 (1891)		
Tiefe....	53—82.3m			82.3 m		
m	Temperatur ° C.	Dichte ( $\sigma_t$ )	Salzgehalt ‰	Temperatur ° C.	Dichte ( $\sigma_t$ )	Salzgehalt ‰
0	19.8	1.0118	17.7	24.9	1.0108	18.2
27.5	13.3	133	18.1	15.4	130	18.1
45.7	8.9	141	18.2	9.6	143	18.1
64	9.6	185	24.1	—	—	—
69.5	11.4	<b>256</b>	33.8	—	—	—
82.3	—	—	—	7.1	<b>202</b>	25.9

Die in den Tiefen von 69.5 bzw. 82.3 m gefundenen Salzgehalte und Dichten zeugen deutlich von dem mittelmeeischen Ursprung des Wassers. Besonders auffallend sind die Angaben der Station 54, wo das Wasser in 69.5 m Tiefe eine Dichte von 1.0256 bei einer Temperatur von 11.4° hat. Im Bosphorus zieht an der Oberfläche ein gut meßbarer Strom in der Richtung vom Schwarzen zum Mittelländischen Meer. Ein Doppelstrom im Bosphorus wurde bereits 1872 von Wharton, 1882 von Makaroff und 1884 von Magnani konstatiert. Auch mehrfache, gut übereinstimmende Messungen wenigstens des Oberstromes liegen vor. Makaroff bestimmte den Wassertransport des ins Schwarze Meer dringenden Unterstromes auf 178 cbkm pro Jahr. Der von Wharton und de Gueydon (*Revue maritime et colon.*, tome 91, 1886)<sup>1)</sup> ausgesprochenen Vermutung, es existiere im Bosphorus in der Tiefe noch ein dritter Strom, der dieselbe Richtung wie der Oberstrom habe, ist nach den Resultaten der russischen Expedition nicht beizupflichten.

Ich will hier kurz ein paar Ergebnisse heranziehen, die Spindler in einer der obengenannten ähnlichen Arbeit,<sup>2)</sup> ausgesprochen hat. Auch im Marmarameer läßt sich eine Grenze zwischen Ober- und Unterstrom leicht in der Tiefe von 11 bis 27.5 m festlegen. Der Oberstrom kommt aus dem Bosphorus, wo wir ihn bereits kennen, durchströmt das Meer in westlicher Richtung, um durch die Enge der Dardanellen ins Aegäische Meer auszutreten, während der Unterstrom, auch hier an dem salzreichen Wasser kenntlich, in entgegengesetzter Richtung zieht. Im Bosphorus nun senkt sich nach Makaroff diese Grenzfläche, die im größten Teil des Marmarameeres auf 13 bis 15 m festzusetzen ist, von 20 allmählich auf 50 m herab.

In Erwägung der auf S. 5 gegebenen Daten über die Schichtung der Temperaturen und in gutem Anschluß an die Lage der Grenzfläche am Ausgang des Bosphorus habe ich dieselbe für das Schwarze Meer in 55 m (genau in 30 Faden = 54.9 m) festgelegt. Wie die Tabelle auf Seite 75 des Materials ergibt, liegt die niedrigste Temperatur im allgemeinen etwas tiefer als bei 55 m; doch ist in Rücksicht auf die von Mohn und Engelhardt begründete Anweisung, die Grenzfläche eher etwas zu hoch als zu tief anzusetzen, an dieser Zahl festgehalten worden.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Temperatur dieser Schicht mit der Wintertemperatur der Oberfläche annähernd übereinstimmt, welcher Umstand folgende Erklärung findet. Das relativ süße Oberflächenwasser kühlt sich im Herbst und Winter von etwa 23 bis 25 bis auf 6 bis 7 ab und wird dabei dichter als die darunter liegende Schicht. Eine Vertikal-

<sup>1)</sup> Vgl. Krümmel: *Ozeanographie* II, S. 298.

<sup>2)</sup> Spindler: *La Mer de Marmara, résumé des recherches hydrologiques*. St. Petersburg 1896.



zirkulation ist die Folge. Diese findet jedoch bereits in der geringen Tiefe von etwa 55 m ihre untere Grenze; denn das darunter befindliche Wasser hat trotz der höheren Temperatur wegen seines hohen Salzgehaltes eine größere Dichte und wird also bei dem Austausch nicht oder doch nur sehr wenig in Mitleidenschaft gezogen. Als Beispiel für die Schichtung der spezifischen Gewichte möge Station 41 aus 1890 dienen, wo die Gesamttiefe 2172 m beträgt:

Tiefe m	Temp. ° C.	Salzgehalt ‰	Dichte ( $\sigma_t$ )	Tiefe m	Temp. ° C.	Salzgeh. ‰	Dichte ( $\sigma_t$ )
0	22.3	18.1	1.0114	91.4	7.2	19.1	1.0150
9.1	21.9	18.1	115	183	8.7	21.4	164
18.3	17.6	18.1	125	366	8.9	22.0	170
27.5	13.6	18.3	135	1646	9.1	22.4	173
45.7	7.5	18.1	141				

Eine Folge dieser mangelnden Zirkulation und zugleich ein Beweis dafür ist der nach der Tiefe hin mehr und mehr zunehmende Gehalt an Schwefelwasserstoff, der seine Entstehung der Verwesung und Fäulnis absinkender Leichen der verschiedenen, den oberen Schichten angehörigen Lebewesen verdankt. Dr. Andrussow, dem die biologischen und geologischen Untersuchungen der Expedition zufließen, gibt eine ausführliche Erklärung dieser Verhältnisse in Verbindung mit einer Hypothese der Entstehung des Schwarzen Meeres. Doch würde eine Wiedergabe seiner interessanten Ausführungen, die hier nur so weit in Betracht kommen, als sie für die Begrenzung des Ober- und Unterstromes Bedeutung haben, uns zu weit von unserem Thema abführen.<sup>1)</sup>

Noch ein Wort über die Ursachen der vorerwähnten Doppelströmung im Bosphorus und Marmarameer! Das Wasser des Mittelmeeres hat eine wesentlich größere Dichte als dasjenige des Schwarzen Meeres, nämlich etwa 1.0285 für die in Betracht kommende Deckschicht, während die Dichte des Schwarzen Meeres für diese Schicht 1.0132 ist. Es herrscht also in einer in der Tiefe gelegenen Niveaufläche dort ein größerer Druck als hier. Dieser Überdruck nun bedingt die vorher beschriebene Strömung in den Verbindungsgewässern. Der Oberstrom wird noch durch den Überschuss an Wasser verstärkt, über den das Schwarze Meer infolge der Einmündung zahlreicher wasserreicher Flüsse und einer im Vergleich zum Mittelmeer geringen Verdunstung verfügt. Daß der Süßwasserzufluß von bedeutendem Einfluß ist, läßt sich schon daraus schließen, daß am Ende des Sommers, während welcher Jahreszeit die in Betracht kommenden Flüsse weniger Wasser spenden, auch der Oberflächenstrom im Bosphorus an Stärke abnimmt.

Wir gehen nach Festlegung der Grenzfläche zur Berechnung der Dichtigkeitsfläche über. Von einer beliebig angenommenen sogenannten Normalstation ausgehend, berechnet Mohn die Höhe, die die Meeresoberfläche an den verschiedenen Orten über der durch die Normalstation als Nullpunkt gelegten Niveaufläche hat, nach folgender Formel:

$$dh = \frac{(1 + \frac{1}{2}bh) \cdot h}{\Sigma_0 (1 - \beta \cos 2\varphi) \cdot (1 + bh)} \cdot (\Sigma_0 - \Sigma).$$

Hierin bedeutet h den Abstand der Grenzfläche von der Oberfläche, in unserem Fall also 55 m,  $\Sigma_0$  bzw.  $\Sigma$  die Durchschnittsdichte der oberen 55 m an der Normalstation beziehungsweise den Einzelstationen;  $\varphi$  ist die geographische Breite und  $\beta$  die Umdrehungskonstante der Erde gleich 0.00259. Der Faktor  $\frac{(1 + \frac{1}{2}bh)}{(1 + bh)}$  wird im vorliegenden Fall gleich 0.999996 und kann daher vernachlässigt werden. Die Formel nimmt alsdann die einfachere Gestalt an:

$$dh = \frac{h}{\Sigma_0} \cdot \frac{\Sigma_0 - \Sigma}{1 - \beta \cos 2\varphi}.$$

<sup>1)</sup> Vgl. Woeikow: Die Tiefseeforschungen im Schwarzen Meere im Jahre 1890. Pet. Mitt. 1891.

Die Mittelzahlen  $\Sigma$  sind aus den Angaben der Dichte in verschiedenen Tiefen, meist in 9.1, 18.3, 27.5, 45.7 und 91.4 m als arithmetische Mittel nach dem bei Engelhardt (in obengenannter Arbeit auf S. 12) angegebenen Verfahren ausgerechnet und neben Breite und Länge der Stationen in die mit  $\Sigma$  bezeichnete Spalte der weiter unten folgenden Tabelle eingetragen worden. Alsdann wurden unter Zugrundelegung des Normalwertes  $\Sigma_0$  zu 1.01350 die Werte von  $dh$  berechnet und gleichfalls in die Tabelle eingetragen.

Der erwähnte Normalwert wird bei Mohn sowohl als auch bei Engelhardt als willkürlich angenommen. Es müßten dann also bei Annahme eines andern als des obigen Normalwertes zwar nicht die absoluten Zahlenwerte der Einzelstationen, aber doch deren Differenzen sich nicht ändern, wenn überhaupt die Dichtigkeitsfläche dieselbe Gestalt behalten soll, was aber, wie in folgender kleiner Rechnung gezeigt werden soll, nicht zutrifft. Die Dichten an zwei beliebigen Stationen seien  $\Sigma_1$  und  $\Sigma_2$ , die unter Zugrundelegung des Normalwertes  $\Sigma_0$  erhaltenen Höhen  $dh_1$  und  $dh_2$ , dagegen die aus dem Normalwert  $\Sigma'_0$  erhaltenen  $dh'_1$  und  $dh'_2$ . Zur Abkürzung bezeichnen wir die Größe  $\frac{h}{1 - \beta \cos 2\varphi}$ , die für unsere Betrachtung nicht von Belang ist, (man nehme zwei in derselben Breite liegende Stationen) mit  $a$ ; dann ist:

$$dh_1 = a - a \frac{\Sigma_1}{\Sigma_0} \quad dh'_1 = a - a \frac{\Sigma_1}{\Sigma'_0}$$

$$dh_2 = a - a \frac{\Sigma_2}{\Sigma_0} \quad dh'_2 = a - a \frac{\Sigma_2}{\Sigma'_0}$$

$$\text{also} \quad dh_1 - dh_2 = a \cdot \frac{\Sigma_2 - \Sigma_1}{\Sigma_0} \quad dh'_1 - dh'_2 = a \cdot \frac{\Sigma_2 - \Sigma_1}{\Sigma'_0}$$

daraus folgt endlich:

$$\frac{dh_1 - dh_2}{dh'_1 - dh'_2} = \frac{\Sigma'_0}{\Sigma_0}$$

Es verhalten sich also die Differenzen umgekehrt wie die angenommenen Normalwerte; das heißt zu dem kleineren Normalwert gehört die stärker ausgebildete Dichtigkeitsfläche. Nun ist zu bemerken, daß in unserem Fall der festzusetzende Normalwert innerhalb der Grenzen 1.0125 und 1.0140 bleibt, die mögliche Änderung des Resultates mithin durch das Verhältnis 676:675 auszudrücken ist. Der mögliche Fehler ist also so gering, daß ich mich veranlaßt sah, trotz obigen Bedenkens an der Formel festzuhalten.<sup>1)</sup>

Tabelle für die mittleren Dichten und Niveauhöhen der einzelnen Stationen.

1890.

Station	N-Br.	O-Lg.	$\Sigma$	dh (mm)	Station	N-Br.	O-Lg.	$\Sigma$	dh (mm)
2*	45 4	32 32	1.01288	+ 34	30	43 15	39 24	1.01345	+ 2.7
3*	44 39	33 17	275	+ 41	31	43 11	39 58	358	+ 4.3
5*	43 1	32 18	314	+ 19.5	32	42 20	40 45	281	+ 37.4
6	43 0	31 5	326	+ 13	33*	41 54	41 11	288	+ 34
7	42 43	30 41	341	+ 4.9	35	41 47	40 35	346	+ 2.2
8	41 41	30 17	352	+ 1.1	36	41 50	39 38	302	+ 26
9	41 32	30 16	330	+ 10.8	37	41 53	38 52	327	+ 12.5
12	41 21	29 25	300	+ 27.1	38	41 55	37 30	285	+ 35.2
13	41 26	29 10	299	+ 27.6	39	41 59	36 30	310	+ 21.7
14	41 23	29 11	297	+ 28.7	40	42 16	36 30	333	+ 9.2
15	41 21	29 52	346	+ 2.2	41	42 48	34 58	304	+ 24.9
16	41 22	30 23	335	+ 8.1	42	42 54	33 55	304	+ 24.9
17	41 55	31 38	310	+ 21.7	43	42 55	33 16	304	+ 24.9
18	41 55	32 18	326	+ 13	44	43 57	33 54	344	+ 3.2
19	42 5	32 26	334	+ 8.7	45	44 15	32 16	307	+ 23.3
20	43 10	34 5	319	+ 16.8	46	43 53	31 16	277	+ 39.5
21	44 41	35 15	371	+ 11.4	47	43 51	30 34	314	+ 15.5
22	44 43	35 8	343	+ 3.8	48	42 32	29 48	299	+ 27.6
23	44 28	34 21	336	+ 7.6	49	43 17	29 3	291	+ 31.9

<sup>1)</sup> Vgl. die Abhandlung von Castens (S. 5, Fußnote 4).

Station	N.Br.	O-Lg.	$\Sigma$	dh (mm)	Station	N.Br.	O-Lg.	$\Sigma$	dh (mm)
	o /	o /				o /	o /		
24	44 26	34 13	351	- 0.5	50	43 32	29 33	290	+ 32.5
25	43 37	34 37	334	+ 8.7	51	44 20	30 58	284	+ 35.7
26	43 14	35 30	361	- 6	52	44 20	30 35	295	- 29.8
27	43 15	36 17	349	+ 0.5	53	44 37	30 12	273	- 41.7
28	43 10	38 1	335	- 8.1	54*	45 0	30 9	310	- 22
29	43 12	38 50	331	- 10.3					

## 1891.

3*	45 6	31 9	1.01394	- 24	64	44 10	29 31	1.01301	- 26.5
4	44 50	30 40	378	- 15.2	65	44 37	32 58	348	- 1.1
5	44 31	30 8	287	+ 34.1	66	44 37	32 5	353	- 1.6
7*	44 54	30 6	329	+ 11.3	67	44 36	31 34	367	- 9.2
8*	45 22	32 12	367	- 14	68	44 56	31 32	344	- 3.2
10*	45 14	32 46	388	- 20.5	75*	45 17	32 22	333	- 9.2
12	44 50	33 16	340	+ 5.4	76	45 14	32 45	308	- 22.7
13	44 23	34 5	314	+ 19.5	77	44 58	33 3	297	- 28.7
14*	44 20	34 2	368	- 9.7	78	44 41	33 17	291	- 31.9
15	44 16	34 2	368	- 9.7	79	44 22	33 30	290	- 32.5
16*	44 14	34 10	386	- 19.5	80	44 24	34 1	236	- 61.7
18	43 50	35 41	403	- 28.7	81*	44 21	34 5	301	- 26.5
19	44 24	35 35	407	- 30.9	83	42 30	34 58	321	- 15.7
20	44 34	35 34	351	- 0.5	84	42 11	34 58	350	0
21	44 42	35 31	381	- 16.8	85*	42 7	35 6	320	- 16.2
22	44 4	36 24	420	- 37.9	86	41 57	35 27	297	- 28.7
23	44 36	36 25	414	- 34.6	87	41 40	37 9	336	- 7.6
24*	44 52	36 24	361	- 6	88	41 24	37 28	311	- 21.1
28	44 34	37 44	375	- 13.5	89	41 16	37 44	253	- 52.5
29	44 32	37 52	366	- 8.7	90	41 12	37 46	211	- 75.3
30	44 6	37 43	293	- 23.3	91	41 12	38 20	296	- 29.2
31	42 54	37 5	406	- 30.3	92	41 14	40 32	329	- 11.4
32	42 16	35 17	389	- 21.1	93*	41 12	40 31	314	- 19.5
33	42 14	35 12	399	- 26.5	94	41 9	40 30	286	- 34.7
34	42 21	33 52	415	- 35.2	95*	41 5	40 30	294	- 30.3
35	42 12	33 52	426	- 41.2	96	41 26	41 4	253	- 52.5
36	42 6	33 52	394	- 23.8	97	41 48	41 23	267	- 44.9
37*	42 2	33 47	386	- 19.5	98	42 3	41 16	225	- 67.7
38	42 36	33 39	379	- 15.7	99	42 30	41 4	288	- 33.6
39	43 56	33 32	386	- 19.5	101	42 57	40 55	253	- 52.5
40	44 12	33 29	375	- 13.5	102	42 38	40 23	247	- 55.8
42	44 31	33 21	379	- 15.7	103	43 5 <sup>1)</sup>	40 13	284	- 35.7
43	43 43	32 58	381	- 16.8	104*	43 31	39 36	306	- 23.8
44	43 6	32 50	407	- 30.9	105	43 33	39 8	288	- 33.6
45	42 46	32 53	385	- 19	106	43 36	36 56	391	- 22.2
46	42 0	31 6	395	- 24.4	107	43 37	35 55	389	- 21.1
47	41 35	31 6	379	- 15.7	108	43 38	35 16	371	- 11.4
48*	41 30	31 10	375	- 13.5	109	44 26	34 40	340	- 5.4
49*	41 21	31 13	334	+ 8.7	110*	44 27	34 16	321	- 15.7
50	41 13	30 49	359	- 4.9	111*	44 28	34 12	321	- 15.7
51*	41 24	29 35	312	+ 20.6	112	42 43	33 16	325	- 13.5
52	41 15	29 38	349	- 0.5	113	42 4	33 10	315	- 19
53*	41 15	29 21	332	+ 9.8	114*	42 7	33 10	341	- 4.9
54	41 17	29 9	346	- 2.2	115*	41 17	29 14	308	- 22.7
55*	41 17	29 5	345	- 2.7	116*	41 16	29 11	300	- 27.1
56*	41 19	29 12	333	+ 9.2	117*	41 17	29 8	303	- 25.5
57	41 20	29 12	364	- 7.6	118	41 18	29 6	294	- 30.3
58	41 25	29 12	363	- 7	119	43 4	29 1	213	+ 74.2
59*	41 29	29 15	348	+ 1.1	120	43 3	28 39	237	- 61.2
60*	41 28	29 14	365	- 8.1	121	43 2	28 25	272	- 42.2
61	42 12	29 15	385	- 19	122	43 21	28 40	291	- 31.9
62	43 31	29 24	358	- 4.3	123	43 43	28 58	219	- 70.9
63	43 32	28 39	350	0					

<sup>1)</sup> Im Material wohl fälschlich 44° 5'.

In dieser Tabelle habe ich die geographischen Längen auf Greenwich bezogen, während sie im Material auf Petersburg bezogen sind (Länge der Universitätssternwarte von Petersburg 30° 17' 51" östlich von Greenwich, Geographisches Jahrbuch 1890/91).



Von den 187 Beobachtungsstationen, die das Material enthält, mußten 33 für unseren Zweck ausgeschieden werden, teils weil die vorhandenen Messungen nicht genügen, um ein brauchbares Resultat zu ergeben, teils weil das Wasser an den betreffenden Stellen zu seicht ist. Das letztere gilt hauptsächlich von dem nordwestlichen Teil des Meeres; hierauf wird bei einer Kritik der Dichtigkeitsfläche noch zurückzukommen sein. Von den übrigbleibenden 154 Stationen sind 140 anstandslos zu benutzen, während die anderen, auf den Karten I, II und III (Tafel 1) durch Klammern kenntlichen, nur angenähert richtig sind, weil die hieselbst lückenhaften Zahlenreihen nach Maßgabe benachbarter Stationen ergänzt sind.

Versucht man nunmehr, die in der Tabelle nicht mit Sternchen bezeichneten Stationen auf einer Karte zu vereinigen, wobei man die aus einer und derselben Beobachtungsperiode stammenden Daten kenntlich macht, so bemerkt man leicht, daß die Daten der verschiedenen Perioden nicht wohl vereinbar sind. Es ist dabei nicht so sehr von Einfluß, daß die Beobachtungen aus verschiedenen Jahren, als aus verschiedenen Jahreszeiten oder doch wenigstens verschiedenen Monaten stammen; denn zwischen den Mai- und Augustbeobachtungen des Jahres 1891 sind stellenweise starke Gegensätze vorhanden, während sich viele Beobachtungen aus dem Juli 1890 teils mit denen vom Mai und Juni 1891, teils auch mit denen vom August 1891 leidlich gut vereinigen lassen. Das führt zu dem Schluß, daß auch während der kurzen Sommerzeit von Mitte Mai bis Ende August wesentliche Änderungen in den Dichteverhältnissen des Schwarzen Meeres stattfinden.

Dieses Resultat ist keineswegs überraschend, sondern läßt sich bereits aus den im Material für die Verteilung des spezifischen Gewichtes gegebenen Karten herauslesen. Während die Verteilung in den Tiefen von 27.5 und 45.7 m sich in den verschiedenen Monaten annähernd gleichbleibt, bieten die Kärtchen für die Oberfläche ganz verschiedene Bilder. Im Frühsommer befindet sich ein scharf ausgeprägtes Dichteminimum im Nordwesten, offenbar zustande gekommen durch den Zufluß der Ströme Donau und Dnjepr, die im Frühjahr besonders reichliche Wassermassen spenden. Im Hochsommer scheint sich diese Schicht süßen Wassers, das in geringem Grade auch von anderen Seiten zuströmt (Mündung des Rion, Kärtchen für August 1891) über die ganze Fläche ausgebreitet zu haben. Bezüglich der hier erwähnten Erscheinung verweise ich auf eine Abhandlung Brückners.<sup>1)</sup> Hierin weist Brückner nach, daß Spiegelschwankungen des Schwarzen Meeres mit einjähriger Periode auf entsprechende Schwankungen in der Wasserführung der obengenannten Flüsse zurückzuführen sind. Während das Hochwasser in den Flußmündungen im April und Mai eintritt, zeigt der Wasserstand des Schwarzen Meeres in der Nähe dieser Mündungen ein Maximum im Mai, an flußfreien Küsten jedoch erst im Juni. Beachtenswert ist, daß an letztgenannter Stelle noch bis in den August hinein der Wasserstand über dem normalen liegt. Außerdem erfolgt auch eine Abnahme der Dichte mit der Zunahme der Temperatur, worauf noch einmal zurückzukommen sein wird.

Es wurden nunmehr Einzelkarten für die verschiedenen Beobachtungsperioden gezeichnet, die in der Tafel 1 als Karten I, II und III wiedergegeben sind, und zwar wurden darin alle berechneten Resultate eingetragen. Auch hier sind noch erhebliche Schwierigkeiten vorhanden.

Zunächst stellen sich auch jetzt noch scheinbare Widersprüche ein. Man vergleiche die Stationen unweit des Bosphorus auf Karte I! Die Beobachtungen an den nur um etwa eine Breitenminute voneinander entfernten Stationen 56 und 57 liefern die Resultate +9.2 und -7.6, trotzdem die beiden Messungsreihen von einem und demselben Nachmittag herrühren. Solche Widersprüche nachträglich aufzuklären, ist schwierig. Meiner Ansicht nach bleibt nur folgende Annahme übrig. An dieser noch nicht 90 m tiefen Stelle nahe der Ausmündung des Bosphorus liegen die beiden entgegengesetzt

<sup>1)</sup> Brückner: Die Schwankungen des Wasserstandes im Schwarzen Meer und ihre Ursachen. »Meteor. Ztschr.«, Juli 1886.

gerichteten und hier besonders schnell fließenden Strömungen einander so nahe, daß ein Teil des Unterstromwassers angesogen und zum Aufsteigen gezwungen wird und dafür an anderer Stelle leichtes Oberflächenwasser absinkt. So ist es möglich, daß nahe beieinander befindliche Wassersäulen erheblich verschiedene Dichten zeigen.

Ferner wird durch die Dreiteilung die Anzahl der Daten, die für die Konstruktion einer und derselben Karte zur Verfügung stehen, sehr gering. Große Gebiete entbehren jeder Angabe wie z. B. das östliche Becken auf Karte I oder das westliche auf Karte III. Versucht man die Linien gleicher Höhe zu ziehen, so sieht man sich vielfach auf Mutmaßungen angewiesen. So könnte man vielleicht auf Karte I die Isohypse 0 so legen, daß sie das kleine sekundäre Maximum 3,2 mm der Station 68 umschließt und also mit dem Hauptmaximum vereinigt.

Man betrachte einmal Station 5 aus 1890 auf Karte II! Die Zahl 19,5, die hier eingetragen ist, kann leicht um  $\pm 3$  Einheiten falsch sein, da sie durch mehrere willkürliche Ergänzungen gefunden wurde. Trägt man an dieser Stelle 16,5 ein, so hat man wohl Grund, die beiden von der 20 mm-Isohypse abgegrenzten Gebiete miteinander zu verbinden. Wäre das richtige Resultat dagegen 22,5, so wäre die Trennung der beiden Gebiete noch viel entschiedener, als bei uns gezeichnet wurde, da die westlichere der Isohypsen noch mehr nach links verlegt werden müßte. Einzelne Stationen wie Nr. 84 und Nr. 114, die auf keine Weise in den Rahmen des Ganzen passen, habe ich unberücksichtigt gelassen, sowie auf die Zeichnung von Isohypsen in der Nähe des Bosporus auf Karte I verzichtet.

Bei einem Vergleich der Karten I, II und III fällt zunächst der Unterschied auf, der zwischen den einzelnen Monaten in bezug auf die absoluten Zahlenwerte besteht. Auf Karte I wurden zur Veranschaulichung die Isohypsen  $-30$ ,  $-20$ ,  $-10$  und  $0$  mm, auf Karte II die von  $0$ ,  $+10$ ,  $+20$  und  $+30$  mm und auf Karte III endlich die von  $0$ ,  $+20$  und  $+50$  mm eingetragen. Das Steigen der Werte mit der Jahreszeit rührt von dem bereits erwähnten Steigen der Oberflächentemperatur her, die Mitte Mai etwa  $12$  bis  $13$  Grad und Mitte August etwa  $23$  bis  $26$  Grad beträgt. Trotz mancher Unterschiede im einzelnen treten gewisse Ähnlichkeiten zwischen den verschiedenen Karten stark hervor. Vor allem ist es die Hebung des Wasserspiegels nach der Donaumündung hin, und dem gegenüber die Senkung im Südosten der Krim.

Auf Karte I und besonders deutlich auf Karte II findet sich eine zweite weniger tiefe Senkung im Nordosten des Bosporus. Dieser Umstand veranlaßte mich auch, die 20 mm Isohypse auf Karte III weit nach dem Bosporus hin ausbiegen zu lassen in der Annahme, daß in dieser Gegend die Dichten auch im August noch relativ groß sind. Weitere bemerkenswerte Übereinstimmungen zeigen die Karten II und III in den hohen Zahlen am Südrand zwischen  $37^\circ$  und  $38^\circ$  östlicher Länge und am Ostrand des Beckens. An letztgenannter Stelle ist eine deutliche Aussüßung des Oberflächenwassers vorhanden, die wohl darin ihre Erklärung findet, daß hier verschiedene ansehnliche Flüsse, vor allem der Rion, münden. Auch die relativ niedrigen Zahlen der Stationen 35 aus 1890 und 92 und 93 aus 1891 weisen wohl auf eine gemeinsame Ursache hin, die zu entdecken mir allerdings nicht gelungen ist.

Bedauerlich ist, daß in der Nähe der Landenge von Kertsch so wenig Beobachtungen gemacht worden sind. Eine wertvolle Ergänzung bilden hier die Untersuchungen von A. Londis, deren Ergebnisse ich nach Krümmels Referat im Geogr. Jahrbuch<sup>1)</sup> anführe: »Es wurden im Sommer 1900 an 20 verschiedenen Stellen, davon 17 südlich von der Enge von Ak-burun, Strömung und Salzgehalt beobachtet und im kleinen bei Tiefen von kaum  $7\frac{1}{2}$  m ein Stromsystem gefunden, das an das des Bosporus erinnert. An der Oberfläche herrscht südlich gerichteter Strom mit leichtem Wasser des Asowschen Meeres (meist  $10\text{‰}$  Salz), in der Tiefe von 5 m abwärts der

<sup>1)</sup> Geogr. Jahrbuch, Band 26, 1903, Seite 235.

nordwärts gerichtete Strom aus dem Schwarzen Meere (mit 16 bis 17 ‰), wobei die isohalinen Flächen im Osten überall höher liegen als im Westen und auch bei diesen schwachen Bewegungen von 0.4 bis 0.8 m. p. S. die Einwirkung der Erdrotation erkennen lassen.<sup>1)</sup>

Noch ein Punkt bleibt zu erwähnen. Das ist die merkwürdige Senkung des Meeresspiegels im Nordwesten zwischen der Donaumündung und der Krim, die namentlich auf Karte I stark hervortritt, aber auch auf den beiden anderen Karten zu erkennen ist. Dazu ist folgendes zu sagen: Einmal ist hier das Meer sehr seicht; die Grenzfläche, die wir als eben annahmen und in 55 m-Tiefe festsetzten, muß sich hier mit dem Meeresboden heben. Unsere Angaben greifen daher schon in die Region des Unterstromes ein und liefern ein gefälschtes Resultat. Sodann läßt sich vielleicht noch vermuten, daß dadurch, daß das zuströmende süße Flußwasser, wie später gezeigt werden soll, unter dem Einfluß der Nordostwinde und der Erdrotation an der Küste entlang südwärts treibt, infolge des entstehenden starken Kompensationsbedürfnisses ein Auftriebsstrom erzeugt wird, der das schwere Grundwasser sich mit dem Oberflächenwasser mischen läßt. Ein Beispiel für eine solche Auftriebserscheinung liefern Ekmans Untersuchungen über die Wasserbewegungen an der Mündung des Göta-Elf.<sup>1)</sup>

Die oben erwähnten Übereinstimmungen zwischen den Einzelkarten gaben Veranlassung zur Konstruktion einer Mittelwertkarte. Diese wurde auf folgende Weise erhalten: Aus den Einzelkarten wurden nach Schätzung die Niveauhöhen an den Schnittpunkten der Längen- und Breitengrade, stellenweise auch der Halbgrade entnommen. Zu bemerken ist, daß dabei auf Karte I die Angaben für das ganze östliche Becken, wo gar keine Messungen vorliegen, nach Gutdünken ungefähr analog denen der beiden anderen Karten eingefügt wurden. Darauf wurde für einen und denselben Punkt aus den drei Ergebnissen das Mittel genommen. Trotzdem die Einzelangaben auf Schätzung beruhen und, wie oben dargetan, großer Willkür unterworfen sind, so kann doch das Ergebnis Anspruch auf angenäherte Richtigkeit machen. Denn erstens ist anzunehmen, daß die gemachten Schätzungsfehler sich teilweise ausgleichen; dann aber ist auch zu beachten, daß ein Fehler nur mit einem Drittel seines Betrages im Resultat enthalten ist.

Die so gewonnenen Mittelzahlen wurden auf Karte IV (Tafel 1) vereinigt, auf der alsdann die Isohypsen im Abstand von 10 zu 10 mm und an einer besonders wichtigen Stelle ihres Verlaufs auch die + 5 mm = Isohypse gezeichnet wurden. Überblicken wir einmal das sich darbietende Bild! Die größte Höhe befindet sich im Süden der Donaumündung und die tiefste Depression im Südosten der Krim. In diesen Grundeigenschaften stimmen, wie oben erwähnt, alle Einzelkarten überein. Auch die beiden Höhenmaxima am Ostrand unter ungefähr 42° Breite und am Südrand unter 38° Länge, die auf den Karten II und III hervortraten, finden sich naturgemäß hier wieder. In dem Ausbiegen der 0 mm- und 10 mm-Linie nach Südosten ist wohl der Einfluß der Stationen 35 aus 1890 und 92 sowie 93 aus 1891 zu erkennen. Die beiden weniger tiefen Depressionen im Nordosten des Bosporus auf Karte I und II finden ihren Ausdruck in dem bedeutenden Ausbiegen der 5 mm-Linie. Eine empfindliche Lücke im Gesamtbild findet sich in der Nähe der Straße von Kertsch. Doch läßt sich vermuten, daß die - 10- und auch noch die 0 mm-Linie in ziemlichem Abstand von der Nordküste verlaufen. Den einzigen Anhaltspunkt dafür bieten allerdings nur die beiden Stationen 20 und 24 auf Karte I, von denen 24 wegen vorgenommener Ergänzungen nur angenähert richtig ist.

Wie bereits im Anfang erwähnt wurde, fanden die Beobachtungen, die das Material zu vorliegender Arbeit bilden, im Sommer statt, also haben ihre Ergebnisse, streng genommen, auch nur für diese Jahreszeit Gültigkeit. Wir brauchen, wie aus den im dritten Abschnitt folgenden Ausführungen erhellen wird, ein Bild für den Jahresdurchschnitt. Im Winter wird die Oberflächentemperatur allgemein sinken und also die Dichte zunehmen, was aber für die

<sup>1)</sup> Krümmel: Ozeanographie, Seite 359 f.

relative Verteilung der Dichtemaxima und -minima an der Oberfläche und der entsprechenden Niveauhöhen nicht wesentlich sein wird. Da wir also vermuten dürfen, auch für den Winter ein dem obigen ähnliches Bild zu erhalten, so können wir mit einem wahrscheinlich nur geringen Fehler unsere Karte als Jahresdurchschnittskarte betrachten und weitere Folgerungen daraus ziehen.

Vor der Hand aber wenden wir uns der zweiten Ursache der Oberflächenströmungen, dem Winde, zu.

## II. Die Windströmungen.

Um Windrichtung und -stärke für den Jahresdurchschnitt zu finden, schlägt Mohn<sup>1)</sup> vor, sich der Isobarenkarte zu bedienen, aus der man nach den Formeln des barischen Windgesetzes die obengenannten Faktoren für jeden Punkt der Karte berechnen kann.

Eine besondere Isobarenkarte für die Gegend des Schwarzen Meeres existiert meines Wissens nicht. Ich habe versucht, eine solche herzustellen. Die dazu benutzten Daten habe ich folgenden Abhandlungen entnommen:

a) Hann: »Die Verteilung des Luftdruckes über Mittel- und Südeuropa.« Geogr. Abhdlgn., Band II, Heft 2.

b) Rykatschew: »Die Verteilung der Winde und des Luftdruckes am Kaspischen Meere.« Repert. für Meteor., Band XI, St. Petersburg 1888.

c) Mitteilungen von Hann über das Klima von Trapezunt und Samsun sowie von Konstantinopel in der Meteorologischen Zeitschrift 1895, Seite 456, und 1902, Seite 122.

Das Material ist vollständig homogen. An allen Beobachtungen sind sämtliche erforderlichen Korrekturen angebracht. Es wurden folgende Angaben benutzt:

Nach Hann:				Nach Rykatschew:			
Name der Station	N-Br.	O-Lg.	Luftdruck (mm)	Name der Station	N-Br.	O-Lg.	Luftdruck (mm)
*Braila . . . . .	45° 16'	27° 59'	(762.7 i)	*Kertsch . . . . .	45° 21'	36° 29'	762.0
Bukarest . . . . .	44° 26'	26° 6'	762.5	*Stawropol . . . . .	45° 3'	41° 59'	762.7
Czernowitz . . . . .	48° 17'	26° 1'	762.8	*Poti . . . . .	42° 8'	41° 36'	761.8
*Jassy . . . . .	47° 10'	27° 36'	(762.8)	Tiflis . . . . .	41° 43'	44° 48'	763.4
*Odessa . . . . .	46° 29'	30° 44'	762.7				
Rustschuk . . . . .	43° 51'	25° 56'	762.4				
*Sulina . . . . .	45° 9'	29° 40'	762.1				
*Trapezunt . . . . .	41° 1'	39° 45'	762.1				
*Samsun . . . . .	41° 18'	36° 19'	761.9				
*Konstantinopel . . . . .	41° 0'	28° 59'	762.2				

Die eingeklammerten Zahlen haben keine volle Gültigkeit. An diesen Stationen nämlich ist die Seehöhe aus den wahren, d. h. mit Schwere- und Instrumentalkorrektur versehenen Luftdruckmitteln abgeleitet; »ihre Mittelzahlen müssen daher übereinstimmen mit dem Jahresmittel jener Nachbarstation, deren absolute Seehöhe bekannt war und der Höhenrechnung zugrunde gelegt wurde.«<sup>2)</sup>

Obige Datenreihe bildet die Grundlage zu Karte V (Tafel 2), die zum Zwecke der Konstruktion von Isobaren über den bisher festgehaltenen Rahmen hinaus ausgedehnt wurde. Die in die Reinschrift aufgenommenen Daten sind durch Sternchen neben den Ortsnamen kenntlich gemacht. Es fügt sich glücklich, daß die Zahlen dieser den engeren Ring bildenden Stationen mit Ausnahme von Braila und Jassy uneingeschränkt gültig sind.

Es läßt sich nicht leugnen, daß das Material für unseren Zweck sehr dürftig ist. Namentlich ist die Festlegung der Isobaren auf dem hohen Meer fern von den Beobachtungspunkten weitgehendster Willkür unterworfen.

<sup>1)</sup> Vgl. S. 5, Fußnote 1.

<sup>2)</sup> Vgl. das unter a angeführte Werk.



Aus den Zahlenwerten der Stationen Konstantinopel, Sulina, Kertsch, Tiflis und Trapezunt läßt sich vermuten, daß die 762 mm-Isobare eine in sich selbst zurücklaufende Kurve bildet, die ein Minimum umschließt. Letztere Annahme stützt sich auf die Werte für Poti und Samsun.

Ein Luftdruckminimum über dem östlichen Teil des Schwarzen Meeres hatte Spindler bereits im Jahre 1885 vermutungsweise angenommen und diese Annahme, wie folgt, zu erhärten versucht.<sup>1)</sup> Schon die Richtung der Winde an den Beobachtungspunkten der Südostküste legt die ausgesprochene Vermutung nahe. Ferner ergibt sich aus den Aufzeichnungen im Schiffsjournal des Dampfers »Bug«, an Bord dessen auf der Strecke vom Bosphorus bis Trapezunt und zwar vom Mai bis Dezember des Jahres 1875 Beobachtungen über Windrichtung und -stärke angestellt wurden, daß auf der bezeichneten Strecke Westwinde vorherrschen. Diese Beobachtung wird von vielen Kapitänen bestätigt. Kombiniert man die erwähnte Tatsache mit dem Resultat Spindlers, daß an der Nord- und Ostküste meist Winde aus östlicher Richtung wehen, die, je mehr man nach Südosten kommt, um so mehr eine südliche bis sogar südwestliche Richtung annehmen, so erscheint die Annahme einer zyklonalen Luftbewegung und also eines Luftdruckminimums über dem östlichen Becken des Schwarzen Meeres leidlich gesichert.

Es handelt sich nun darum, das mutmaßliche Minimum nach Lage und Austiefung zu bestimmen. Dabei habe ich den »Atlas climatologique de l'empire de Russie« benutzt und, soweit das mit dem vorliegenden Material vereinbar war, mich an das Resultat desselben angelehnt. Ich will hier gleich den wichtigsten Punkt hervorheben, in dem ich mich von seinen Angaben entfernen mußte. Nach dem »Atlas climatologique« verläuft die 762 mm-Isobare in ziemlich bedeutendem Abstand von der Südküste. Auf meiner Karte liegt sie um vieles südlicher, was durch die Luftdruckwerte von Samsun und Trapezunt bedingt ist. Im Anschluß daran habe ich auch den tiefsten Punkt der Depression etwas nach Süden gerückt und der von der 761.5 mm-Linie umschlossenen Fläche eine etwas rundlichere Gestalt gegeben. Nach dieser Festsetzung ist die Eintragung der übrigen 0.1 mm-Isobaren auf dem ganzen Gebiet äußerst einfach und das Ergebnis auf Karte V ohne weiteres zu überblicken.

Es mag noch darauf hingewiesen werden, daß sich bezüglich der Luftdruckverteilung naturgemäß eine Zweiteilung des Gebietes ergibt. Der Bereich der östlichen Zyklone mit geringen Luftdruckdifferenzen findet nach Nordwesten ungefähr am 45. Breitenparallel seine Grenze. Jenseits desselben, in der Bucht von Odessa, verlaufen die Isobaren in ost-westlicher Richtung und liegen auch wesentlich dichter aneinander. Diesen bedeutungsvollen Unterschied werden wir noch mehrfach zu berühren haben.

Die Richtung des herrschenden Windes bestimmen Mohn wie Wegemann<sup>2)</sup> nach der Formel:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{2 w \sin \varphi}{k}$$

Hierin bedeutet  $\alpha$  den Winkel zwischen Windrichtung und Gradientenrichtung und  $\varphi$  wie gewöhnlich die geographische Breite. Ferner ist  $w = 0.00007292$  und  $k = 0.000035$  zu setzen. (Näheres über diese Größen siehe bei Mohn, S. 114 und bei Wegemann, S. 5). Nach obiger Formel habe ich die »Ablenkungswinkel« für die vollen Breitengrade vom 40. bis zum 47. Grad berechnet und alsdann diejenigen für die dazwischenliegenden Halbgrade durch Interpolation gefunden.

Für die Windgeschwindigkeit gibt Mohn die Formel:

$$v = \frac{\mu \cdot G \cdot \cos \alpha}{\varphi \cdot k}$$

Bezüglich der darin enthaltenen Größen muß ich ebenfalls auf Mohn und Wegemann verweisen. Die aus dieser Formel sich ergebenden Ge-

<sup>1)</sup> Spindler: Die Verteilung der Winde an den Küsten des Schwarzen und Asowschen Meeres. »Repert. für Meteor.«, Band IX. St. Petersburg 1888.

<sup>2)</sup> Vgl. S. 5, Fußnoten 1 und 3.



schwindigkeiten zeigen nicht die wünschenswerte Übereinstimmung mit der Wirklichkeit. Deshalb sah Wegemann sich veranlaßt, einer Idee Krümmels folgend auf empirischem Wege Beziehungen zwischen Gradient und Windstärke aufzusuchen. Er fand, daß das Produkt aus Windstärke und Isobarenabstand für je 1 mm Barometerstanddifferenz angenähert konstant ist für eine und dieselbe Breite, und daß diese Konstanten sich verhalten wie die Kosinus der normalen Ablenkungswinkel. Im folgenden geben wir einen Ausschnitt aus seiner Tabelle.<sup>1)</sup>

Windstärke		35° N-Br.		45° N-Br.		55° N-Br.	
B	$\frac{m}{sek}$	Isobaren- abstand	Konstante	Isobaren- abstand	Konstante	Isobaren- abstand	Konstante
I	1.6	522		435		380	
II	3.1	270	836 + 8	224	696 + 8	196	607 + 11
III	4.8	175	— 6	146	— 3 3	127	— 13
IV	6.7	126		105		92	

Derselben sind die Köppenschen Reduktionswerte für die Umrechnung von Beaufortgraden in m p. Sek. zugrunde gelegt, während in der Dissertation noch die Krümmelschen Reduktionswerte benutzt wurden, die namentlich in den höheren Beaufortgraden von den Köppenschen abweichen, was sich dadurch erklärt, daß Herrn Professor Krümmel noch nicht die später veröffentlichten Beobachtungen von »Elisabeth« und »Kurtis« zur Verfügung standen.

Aus der erwähnten Relation:

$$\cos \alpha 35^\circ : \cos \alpha 45^\circ : \cos \alpha 55^\circ = c 35^\circ : c 45^\circ : c 55^\circ$$

ergibt sich:

$$c 40^\circ = c 35^\circ \frac{\cos \alpha 40^\circ}{\cos \alpha 35^\circ} \quad \text{oder:} \quad c 40^\circ = c 45^\circ \frac{\cos \alpha 40^\circ}{\cos \alpha 45^\circ}$$

$$c 40^\circ = 756.57 \quad \text{,,} \quad c 40^\circ = 757.10$$

daraus als Mittelwert:  $c 40^\circ = 756.9$ . In gleicher Weise wurden die Konstanten für die vollen Grade vom 40. bis 47. Grad gefunden und alsdann die Konstanten für die Halbgrade durch Interpolation gewonnen. Die folgende Tabelle enthält für jede der in Betracht kommenden Breiten den Ablenkungswinkel  $\alpha$  und die Konstante  $c$ :

N-Br.	40°	40° 30'	41°	41° 30'	42°	42° 30'	43°	43° 30'
$\alpha$	69° 32'	69° 43'	69° 54'	70° 5'	70° 16'	70° 27'	70° 37'	70° 47'
c	757	750	744	737	731	725	719	713
N-Br.	44°	44° 30'	45°	45° 30'	46°	46° 30'	47°	
$\alpha$	70° 56'	71° 6'	71° 15'	71° 24'	71° 33'	71° 42'	71° 50'	
c	707	701	696	690	685	680	675	

Um Windrichtung und -geschwindigkeit über dem fraglichen Gebiet festzustellen, wurden auf Karte V in den in möglichst regelmäßiger Verteilung gewählten Punkten auf den Isobaren Tangenten und Normalen an dieselben gelegt und die Ablenkungswinkel eingetragen. Aus Bequemlichkeitsgründen wurden hauptsächlich die Schnittpunkte der Kurven mit den Parallelkreisen gewählt, weil für sie Ablenkungswinkel und Konstante direkt aus der Tabelle entnommen werden konnten. Auf den Normalen wurde der Abstand zweier dem gewählten Punkt benachbarter Isobaren gemessen, die also eine Druckdifferenz von 0.2 mm aufwiesen, und mit Benutzung einer am Kartenrand an-

<sup>1)</sup> Wegemann: Erweiterung des barischen Windgesetzes nebst Anwendung. Ann. d. Hydr. usw., 1904, Heft IX, S. 412.

gebrachten Hülfskala in km ausgedrückt. Letztere Zahl mußte noch mit 5 multipliziert werden, um den Abstand der 1 mm-Isobaren zu ergeben. In dem nordwestlichen Teil des Meeres, wo die Isobaren wesentlich näher aneinander liegen, wurde, um die größtmögliche Genauigkeit zu erzielen, die gemessene Strecke zunächst verfünffacht und alsdann ebenfalls der Abstand der 1 mm-Isobaren für den betreffenden Punkt mit Hilfe der erwähnten Skala gewonnen.

Schließlich wurde für sämtliche Punkte — es waren deren 35 — die Windgeschwindigkeit nach der einfachen Formel:

$$\begin{aligned} a \cdot v &= c \\ \text{also: } v &= \frac{c}{a} \end{aligned}$$

berechnet und an die betreffenden Punkte nebst den durch die Pfeile angedeuteten Windrichtungen eingetragen.

Das sich darbietende Bild ist leicht zu übersehen. Die »Spindlersche Zyklone« kommt auch auf unserer Karte voll zum Ausdruck. Es ergibt sich für den Teil der Küste, wo bei Spindler<sup>1)</sup> Messungen vorliegen, wenigstens in bezug auf die Windrichtung eine leidliche Übereinstimmung seiner Resultate mit denen unserer Karte, wenn man in Betracht zieht, daß der Ablenkungswinkel für die Ebene, noch mehr aber für das Gebirge, kleiner ist als auf dem offenen Meer; denn die Konstante  $k$ , die in der Berechnungsformel  $\tan \alpha = \frac{2 w \sin \varphi}{k}$  im Nenner auftritt, wird nach Wegemann<sup>2)</sup> für die Ebene 0.00008, für Gebirge sogar 0.00012.

Ein Punkt ist namhaft zu machen, in dem sich die beiden Karten unterscheiden. Es ist bei Betrachtung der Spindlerschen Karte auffallend, daß oft nahe benachbarte Küstenpunkte wesentlich verschiedene Windrichtung haben. Man vergleiche beispielsweise die Stationen auf der Krim! Mag dieser Umstand teilweise den örtlichen Verhältnissen, also etwa der nicht überall ganz gleichartigen Aufstellung der Instrumente zuzuschreiben sein; es bleibt doch ein unauflösbarer Rest, und es ist anzunehmen, daß auch auf dem offenen Meere das Bild sich nicht ganz so gleichmäßig darstellen würde, wie unsere Karte dies zeigt. Da jedoch die etwaigen lokalen Abweichungen für das zu konstruierende Strombild kaum Bedeutung haben würden, so dürfen wir also an der auf Grund der Isobarenkarte entworfenen Windkarte festhalten.

Die stromerzeugende Kraft des Windes findet Mohn auf empirischem Wege. Das Resultat ist: Eine Windstärke von 3.9 Beaufort erzeugt einen Strom von 15 Seemeilen in 24 Stunden. Unter Zugrundlegung der Köppenschen Reduktionswerte (Tabelle auf S. 15) finden wir, da 3.9 Beaufort gleich 6.51 m p. S. Windgeschwindigkeit ist: 1 m p. S. Wind erzeugt einen Strom von 2.304 Seemeilen in 24 Stunden oder 0.0494 m p. S. Danach läßt sich leicht für die Punkte, für die die Windgeschwindigkeit berechnet wurde, auch die darausfolgende Stromgeschwindigkeit finden, da beide einander einfach proportional sind.

Auf Karte VI (Tafel 2) wurde für die betreffenden Punkte die Stromrichtung eingetragen, die Geschwindigkeit hinzugeschrieben und nunmehr die Linien gleicher Geschwindigkeit gezeichnet. — Ihr Geschwindigkeitsmaximum erreichen die Windströmungen im Nordwesten mit etwa  $7\frac{1}{2}$  Seemeilen. Ziemlich bedeutend sind sie noch an der Nordost- und der Südküste. Ein im Westen sehr breiter, nach Osten zu schmaler werdender Streifen geringer Geschwindigkeiten schiebt sich zwischen diese beide Maxima zweiter Ordnung ein. Gerade zwischen ihnen liegt an der Stelle des Luftdruckminimums der stromlose Punkt, der das Zentrum des großen Stromrings bildet.

<sup>1)</sup> Vgl. S. 14, Fußnote 1.

<sup>2)</sup> Vgl. S. 15, Fußnote 1.

### III. Berechnung der Oberflächenströmungen mittels Wind- und Stromfläche.

Um den Einfluß der Winde auf die Strömungen mit dem der Dichteunterschiede kombinieren zu können, hat Mohn<sup>1)</sup> ein geradezu genial erdachtes Verfahren geschaffen, dessen Gedankengang wir mit wenigen Worten wiedergeben wollen.

Aus der Windströmungskarte konstruiert Mohn die Gestalt, die die Meeresoberfläche unter dem Einfluß der Windströmungen, der Rotationskraft und der Schwere einnimmt, indem er für eine Anzahl von Punkten die Höhe der Meeresoberfläche über der Niveauläche des tiefsten Punktes berechnet. Dadurch gewinnt er die von ihm sogenannte »Windfläche«.

Über die geeignetste Methode der Berechnung dieser Windfläche hat Mohn selbst seine Ansicht geändert. Zur Berechnung der Höhen über der Niveauläche des tiefsten Punktes bedient er sich in der endgültigen Publikation<sup>1)</sup> zur Strömung normaler Parabelschnitte, und zwar werden die Parabeln derart gelegt, daß der Scheitel in einen stromlosen Punkt fällt, die Achse derselben senkrecht zur Niveauläche nach aufwärts gerichtet, falls die Strömung den betreffenden Punkt zyklonal umkreist, was im vorliegenden Fall zutrifft. Schon Wegemann weist darauf hin, daß diese Methode voraussetzt, daß die Stromstärke im Verhältnis zum Abstand vom Parabelscheitel zunimmt. Diese Annahme trifft für das Schwarze Meer keineswegs zu. Ich habe daher auf Mohns ursprüngliche Methode der stufenweisen Berechnung der Niveauhöhen zurückgegriffen.<sup>2)</sup> Für den innersten Teil ist auch hier an der Parabelform des Querschnitts festgehalten worden. Die hierselbst anzuwendende Berechnungsformel lautet:

$$h = x \cdot u \cdot M.$$

Darin bedeutet  $x$  die Entfernung des äußersten Punktes der Strecke vom Zentrum in km,  $u$  die Stromgeschwindigkeit und  $h$  die Niveauhöhe dieses Punktes in m.  $M$  ist für eine bestimmte Breite konstant und gegeben durch die Formel:

$$M = 1000 \cdot \frac{w \cdot \sin \varphi}{g \cdot 45^\circ (1 - \beta \cos 2 \varphi)}.$$

Der erforderliche Grad von Genauigkeit wird vollkommen erreicht, wenn man  $M$  für die Halbgrade in dem vorkommenden Intervall vom  $41\frac{1}{2}$  bis zum  $44\frac{1}{2}$  Grad ausrechnet und für jeden beliebigen Punkt den betreffenden Wert nach Schätzung aus den benachbarten bestimmt.

Mit Hilfe der Parabelgleichung kann man, nachdem  $h$  bekannt ist, die Höhe  $h_1$  eines auf  $x$  in der Entfernung  $x_1$  vom Zentrum gelegenen Punktes berechnen. Praktischer verfährt man allerdings, wenn man Wegemanns Vorschlag folgend, die Strecke  $x_1$  berechnet, an deren Endpunkt die Windfläche eine bestimmte Höhe  $h_1$  hat. Es ist:

$$x_1 = x \cdot \sqrt{\frac{h_1}{h}}.$$

Für die anderen, weiter außerhalb gelegenen Punkte gilt die Formel:

$$h = 2 \cdot x \cdot u \cdot M,$$

wo  $x$  die Länge einer von zwei Punkten mit bekannter Geschwindigkeit begrenzten Strecke auf der Transversalen in km,  $u$  die Stromgeschwindigkeit auf der Mitte dieser Strecke in m bedeutet. Da dieselbe als arithmetisches Mittel aus den beiden Endgeschwindigkeiten zu finden ist, kann man auch setzen:

$$h = x \cdot (u_1 + u_2) \cdot M,$$

wo  $u_1$  und  $u_2$  die entsprechenden Endgeschwindigkeiten bedeuten.

Auf Karte VI wurden von dem stromlosen Punkt aus sechs Transversalen gezogen und auf denselben nach obigen Formeln die Höhen für im ganzen 21 Punkte berechnet. Die Messung der Größen  $x$  bzw.  $x_1$  geschah mit

<sup>1)</sup> Vgl. S. 5, Fußnote 1.

<sup>2)</sup> Mohn: Die Strömungen des Europäischen Nordmeeres. »Pet. Mitt.«, Ergb. XVII, 1884—1885.

Hilfe einer am Kartenrand angebrachten Kilometerskala. Auf eine zeichnerische Darstellung der Windfläche wurde, da dieselbe für unseren Zweck nicht von Belang ist, verzichtet.

Es wurden nun aus Karte IV (Tafel 1) für dieselben Punkte, für die die Höhen der Windfläche berechnet waren, auch die der Dichtigkeitsfläche entnommen und zu ersteren algebraisch addiert. Auf diese Weise erhält man die »Stromfläche«, die also in ihrer Gestalt dem Einfluß der Dichteverhältnisse und der stromerzeugenden Kraft des Windes gerecht wird. Auf Karte VII (Tafel 2) wurde die Stromfläche durch Linien gleicher Erhebung über dem tiefsten Punkt mit einer Höhendifferenz von je 50 mm zur Anschauung gebracht.

An dieser Stelle ist auch ersichtlich, weshalb die Windfläche nur in dem Gebiet berechnet wurde, wo auch die Dichtigkeitsfläche bekannt war, da gerade in der Kombination der beiden der Zweck der Methode liegt.

Die Stromfläche endlich bildet die Grundlage zur Berechnung der Oberflächenströmungen. Dabei ist folgendes Gesetz zu beachten: Der Strom zieht in der Richtung der Linien gleicher Erhebung, wobei auf der Nordhalbkugel die Depression zur Linken liegt, er also dieselbe im umgekehrten Drehsinn des Uhrzeigers umkreist. Die Rechnung vollzieht sich nach folgender Formel:

$$u = [3.4964866] \frac{\Delta h^m \cdot (1 - \beta \cos 2 \varphi)}{\Delta a^{km} \cdot \sin \varphi} \text{ Seemeilen pro Tag.}$$

Hierin bedeutet  $\varphi$  die Breite,  $\beta$  die bereits auf S. 7 erwähnte Umdrehungskonstante der Erde,  $\Delta h^m$  die Höhendifferenz zweier Punkte in m, deren Horizontalabstand in km mit  $\Delta a^{km}$  bezeichnet ist. Die in eckige Klammern gesetzte Zahl ist ein Logarithmus. Die Stromgeschwindigkeit  $u$  erhält man in Seemeilen pro Tag.

Die Ausführung gestaltet sich folgendermaßen. An beliebigen Punkten legt man zur Andeutung der Stromrichtung die Tangenten an die Kurven, zieht die zugehörigen Normalen, bestimmt mittels der erwähnten Hilfsskala deren Länge zwischen zwei Nachbarkurven in km und berechnet dann die Stromgeschwindigkeit nach vorstehender Formel, die sich noch, wie folgt, vereinfacht. Da  $\Delta h^m = 0.1$  ist, so kann man diese Konstante mit dem Logarithmus vereinigen und erhält:

$$u = [2.49649] \cdot \frac{1 - \beta \cos 2 \varphi}{\Delta a^{km} \cdot \sin \varphi} \text{ Seemeilen pro Tag.}$$

Es empfiehlt sich auch hier analog dem auf S. 17 beschriebenen Verfahren, die Größe  $[2.49649] \cdot \frac{1 - \beta \cos 2 \varphi}{\sin \varphi}$  für die einzelnen Halbgrade auszurechnen und dann für einen beliebigen Punkt den nächstliegenden Wert zu benutzen. Die Berechnung wurde für 15 Punkte ausgeführt, das Resultat ist auf Karte VII niedergelegt.

#### IV. Die Oberflächenströmungen als Resultierende aus Dichte- und Windströmungen.

Schon Wegemann<sup>1)</sup> hat verschiedene Bedenken angeführt, die gegen den Aufbau der Windfläche geltend gemacht werden können. Da ich die Frage am Schluß dieser Abhandlung im Zusammenhang zu erörtern gedenke, will ich mich an dieser Stelle mit dem bloßen Hinweis auf dieselbe begnügen und nunmehr neben der bisher gehandhabten Methode noch den im folgenden zu beschreibenden und zu begründenden Weg einschlagen, der es ermöglicht, mit Umgehung der Wind- und Stromfläche den beiden von mir betrachteten Ursachen der Strömungen Rechnung zu tragen. Eine Andeutung dieser Methode findet sich bereits bei Wegemann a. a. O. auf S. 22.

Wenn die ungleichmäßige Verteilung der Dichte und die daraus resultierende Deformierung der Oberfläche die einzige Ursache der Strömungen wäre, so könnte man die Dichtigkeitsfläche bereits als Stromfläche betrachten

<sup>1)</sup> Vgl. S. 5, Fußnote 3.

und daraus nach vorstehender Formel die Strömungen berechnen; auf jeden Fall erhält man, indem man das tut, eine Strömungskomponente, die nach Größe und Richtung dem Einfluß der Dichteverteilung entspricht. Zum Zweck der Ausführung wurden auf Karte IV (Tafel 1) zwischen den 10 mm-Isohypsen die Linien gleichen Abstands gezogen (auf der Karte die punktierten Linien), die hier keineswegs immer mit den 5 mm-Isohypsen identisch sind. Man betrachte z. B. die Mittellinie zwischen der + 30 und + 20 mm-Linie im Nordwesten! Die 25 mm-Isohypse würde um vieles westlicher verlaufen. Man wählt nun zur Berechnung der Stromgeschwindigkeit solche Punkte auf den Kurven aus, wo die Höhendifferenz der beiderseits benachbarten 10 mm beträgt, wo also diese letzteren Isohypsen sind. In diesen Punkten zieht man zur Andeutung der Stromrichtung die Tangenten an die Kurven, ferner die Normalen, mißt deren Längen zwischen den Nachbarkurven und berechnet dann die Stromgeschwindigkeit nach der genannten Formel, die für diesen Fall die Gestalt annimmt:

$$u = [1,49649] \cdot \frac{1 - \beta \cos 2\varphi}{\Delta a \text{ km} \cdot \sin \varphi} \text{ Seemeilen pro Tag.}$$

Bezüglich der Vereinfachung vergleiche man das auf S. 18 Gesagte.

Die Berechnung wurde für 37 Punkte ausgeführt und die gefundenen Größen nebst den die Stromrichtung andeutenden, zu den Kurven tangential gerichteten Pfeilen in die Karte eingetragen. An zwei Stellen ist die Stromgeschwindigkeit Null, das ist im Innern des Stromringes, der das östliche Becken ausfüllt, und auf der stromlosen Achse, die von der + 0.5 mm-Isohypse umschlossen wird. Auf letzterer wurde der bezeichnete Punkt festgelegt und für ihn die Geschwindigkeit Null gerechnet. Es sind drei Geschwindigkeitsmaxima vorhanden: In der Mitte des westlichen und am Nord- und Südrand des östlichen Beckens. Nur an letztgenannter Stelle wird die Geschwindigkeit von 1 Seemeile pro Tag erreicht.

Wäre dagegen der Wind die einzige Ursache der Oberflächenströmungen, so könnte man zur Berechnung derselben auf die Konstruktion der Windfläche verzichten; denn man wird selbstverständlich finden, daß die aus der Gestalt der Windfläche gefolgerten Strömungen alsdann mit den vom Wind erzeugten identisch sind, die ihrerseits die Grundlage für die Konstruktion der Windfläche bilden. Die Herstellung der letzteren hat also für unseren Zweck nur die Bedeutung einer Hilfskonstruktion, die wir, wie oben gesagt wurde, durch eine andere ersetzen wollen.

Greifen zwei nach Richtung und Größe gegebene Kräfte an einem und demselben Punkt an, so gelangt er an den vierten Eckpunkt des aus den Kraftkomponenten gebildeten Parallelogramms, und sein Weg ist die Diagonale. Mit Hilfe dieses Satzes vom Parallelogramm der Kräfte wurden Wind- und Dichteströmungen kombiniert. Zunächst wurde auf der Windströmungskarte (Karte VI, Taf. 2) für dieselben Punkte wie in der Dichtigkeitsfläche Richtung und Geschwindigkeit der Strömung aus den Angaben benachbarter Punkte nach Schätzung bestimmt. Als dann wurden in einer Hilfskonstruktion aus beiden Komponenten, nämlich der Dichte- und Windströmung, die Resultierende nach Größe und Richtung gefunden, wobei für die Zeichnung 1 Seemeile gleich 5 cm genommen wurde. Die Resultierende läßt sich auch mit Hilfe des Kosinussatzes berechnen. Da dieser Weg jedoch langwieriger ist, und bei der Konstruktion in obigem Maßstab der erforderliche Grad von Genauigkeit vollkommen erreicht wird, so wurde der erstgenannte Weg eingeschlagen. Die beiden stromlosen Punkte im Innern der Stromringe auf der Wind- und der Dichteströmungskarte fallen so nahe zusammen, daß man zwischen beiden, etwas näher dem ersteren, auch für die Resultierende Null setzen kann.

Die gewonnenen Resultate wurden in Karte VIII (Tafel 2) eingetragen. Die Bewegungsrichtung ist durch die Pfeile angedeutet; die Geschwindigkeit in Seemeilen pro Tag ist hinzugeschrieben. Auf den Pfeilen sind die Punkte, für die die Zahlen gelten, kenntlich gemacht.

Mit Hilfe der beschriebenen Kombinationsmethode lassen sich die Strömungen bis zum  $44\frac{1}{2}$  Grad konstruieren. Nördlich davon versagt die



Dichtigkeitsfläche. Zugleich nimmt aber daselbst die Windgeschwindigkeit zu, so daß in der Bucht von Odessa sie fast allein maßgebend für die Oberflächenströmungen zu sein scheint, selbst wenn man annimmt, daß die Dichteunterschiede hier stärker als anderswo sind. Man kann daher mit einem geringen Fehler die Dichteverhältnisse hier vernachlässigen und, wie das auch geschehen ist, die Windströmungen einfach als Oberflächenströmungen gelten lassen.

Somit ist Richtung und Stärke des Oberflächenstromes für 43 Punkte bestimmt. Die Anzahl ist bei der Übersichtlichkeit des Ganzen wohl genügend. Eine größere Lücke im Gesamtbild zeigt sich im Nordwesten ungefähr unter  $45^\circ$  Breite. An dieser Stelle, die in bezug auf die Windströmungen als ein Übergangsgebiet von größeren zu geringeren Geschwindigkeiten zu bezeichnen ist, dürfen die Dichteströmungen nicht mehr völlig vernachlässigt werden. Da es aber, wie aus den Erörterungen auf S. 10 und 12 hervorgeht, unmöglich ist, ihren Einfluß numerisch zu ermitteln, so habe ich mich entschlossen, hier selbst Interpolationswerte einzutragen, die aus den Angaben der Nachbarpunkte, für die zahlenmäßige Resultate vorliegen, gewonnen sind. Dasselbe ist auch an einigen anderen Stellen geschehen, wo sich Lücken befanden, konnte aber daselbst mit mehr Anspruch an exakte Richtigkeit ausgeführt werden, da dort die Unterschiede namentlich in bezug auf die Geschwindigkeit geringer sind.

Bei einem Vergleich unserer Stromkarte mit der Wind- und Dichteströmungskarte fällt sofort auf, daß für das resultierende Strombild die Windströmungen nach Richtung und Stärke sowohl als auch in bezug auf die relative Verteilung der Geschwindigkeitsmaxima maßgebend sind und nur wenig durch die Dichteströmungen modifiziert werden. Letztere spielen hier wie in allen bisher untersuchten Fällen eine untergeordnete Rolle.

Der größte Teil des Meeresbeckens wird von dem großen Stromring eingenommen, dessen Existenz sich ohne weiteres aus den beiden anderen Karten erklärt. Die Strömungen in der Bucht von Odessa wurden bereits auf S. 12 einer Betrachtung gewürdigt.

Die Stromstärke variiert zwischen 2 und 8 Sm pro Tag. Um uns eine Vorstellung von der Größenordnung dieser Zahlen zu machen, führen wir folgendes an: Bei dem Vergleich, der auf Schiffen täglich zwischen dem »geißten« und dem astronomischen Besteck angestellt wird, gilt eine sich daraus ergebende Stromversetzung von weniger als 10 Sm schon als unsicher, während eine solche von weniger als 5 Sm einfach als »kein Strom« notiert wird.<sup>1)</sup> Es handelt sich also in unserem Falle um Größen, die für die Nautik kaum Bedeutung haben können.

Besondere Beachtung verdient noch folgendes Phänomen, das Spindler in der Abhandlung: »La Mer de Marmara etc.« erwähnt. Während der Oberflächenstrom im Bosphorus in der Regel nach Südwesten gerichtet ist, also vom Schwarzen Meer herkommt, wurde ausnahmsweise auch ein Nordoststrom beobachtet und zwar in einem Falle sogar bei Windstille, wodurch also eine Erklärung der Erscheinung als Windtrift ausgeschlossen ist. Es ist nun daran festzuhalten, daß das durch Rechnung und Konstruktion gefundene Strombild die Verhältnisse darstellt, wie sie im Jahresdurchschnitt sind, »während doch sehr viele Strömungen notorisch gewissen Variationen sowohl nach Richtung wie Stärke mit den Jahreszeiten unterliegen, die zum Teil in eine völlige Umkehr des Stromes übergehen können: Dann würde eine »mittlere jährliche Stromrichtung« für solchen Raum etwas ganz Abstraktes, in Wirklichkeit niemals Vorhandenes ergeben.«<sup>2)</sup> In der im Eingang dieser Arbeit erwähnten Abhandlung Spindlers heißt es in bezug auf das Schwarze Meer ausdrücklich: »Dans la Mer Noire ce ne sont pas les courants constants, peu développés d'ailleurs, qui méritent le plus d'attention de la part du marin; ce sont plutôt les courants imprévus de grande force et de directions variables, qui se produisent à la suite des vents . . . .« Dieser Umstand dürfte meines

<sup>1)</sup> Siehe Krümmel: Ozeanographie II, S. 372 f.

<sup>2)</sup> Ebenda, S. 375.

Erachtens zu einer Erklärung der Erscheinung vollkommen genügen. Denken wir uns in diesem Gebiet nördlich des Bosphorus zeitweilig westliche bis südwestliche Winde von größerer Geschwindigkeit als auf der Jahresdurchschnittskarte wehen, so würden auch auf unserer Strömungskarte die dort eingetragenen Pfeile für die betreffende Zeit eine nach Osten bis Nordosten gerichtete Strömung anzeigen. Eine solche wäre wohl imstande, im Bosphorus einen Kompensationsstrom von der erwähnten Richtung hervorzurufen, zumal zu einer Jahreszeit, wo wegen schwächeren Zuflusses an Süßwasser das Niveau des Schwarzen Meeres sich mit dem des Mittelmeeres annähernd gleichgestellt hat.

### V. Vergleich der beiden Karten der Oberflächenströmungen.

Wir haben bei der Betrachtung der Oberflächenströmungen an die Karte angeknüpft, die wir mittels der Konstruktion nach dem Satz vom Parallelogramm der Bewegungen erhalten hatten, und das mit Hilfe der Wind- und Stromfläche gewonnene Resultat bisher außer acht gelassen.

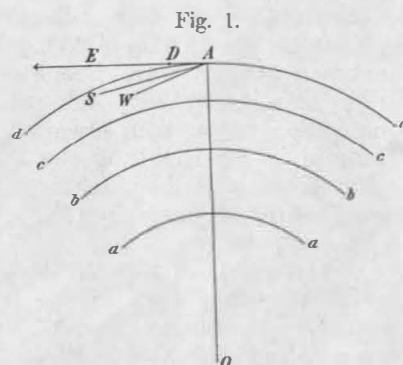
Wenn wir nunmehr eine Vergleichung beider vornehmen, so fällt zweierlei dabei auf. Erstens sind auf der mittels der Windfläche konstruierten Karte (VII) die Stromgeschwindigkeiten im allgemeinen etwas geringer als auf der anderen. Dann aber vor allem besteht ein durchgreifender Unterschied in der Richtung der Strömung, und zwar erscheint dieselbe auf Karte VII im Vergleich zu VIII durchgängig nach rechts abgelenkt.

Der Aufbau der Wind- und Stromfläche ist in hohem Grade hypothetischer Natur. Die Annahme Wegemanns, die sich, wenn auch nicht direkt ausgesprochen, in seiner Abhandlung findet, daß nämlich die Orte maximaler Geschwindigkeit mit denen höchster Erhebung der Windfläche identisch sind, ist nicht einleuchtend; auch bin ich bei der Herstellung der Windfläche bewußt davon abgewichen. Die im folgenden angestellten Erörterungen umgehen durch geeignete Voraussetzungen diese Schwierigkeit sowie auch die Frage der Ablenkung von der Stromrichtung durch die Küste, für die auch Mohn nur ganz allgemeine Wegweiser gibt.

Es möge ein kreisrundes Meeresbecken gegeben sein, über dessen Mitte sich ein Luftdruckminimum befindet. Die Isobaren seien konzentrische Kreise, ihre Abstände derart, daß die Wind- und Stromgeschwindigkeiten proportional dem Abstand von der Mitte zunehmen, wodurch erreicht wird, daß die Niveauhöhen im Quadrat dieses Abstandes wachsen. Auch die Dichtigkeitsfläche habe ihren tiefsten Punkt in der Mitte des Meeres; die Isohypsen seien ebenfalls konzentrische Kreise, und die Niveauhöhen mögen wieder proportional dem Quadrat des Abstandes zunehmen. Durch unsere Annahmen haben wir erreicht, daß auch die Isohypsen der Stromfläche konzentrische Kreise sind und die Höhen mit dem Quadrat des Abstandes von der stromlosen Mitte wachsen, daß also die Linien gleicher Erhebung parallel der Küste verlaufen und die Transversalen wirklich Parabeln werden.

Figur 1 stellt einen Ausschnitt der Stromfläche dar. Die konzentrischen Kreise a, b, c, d können sowohl als Isobaren wie auch als Isohypsen der Dichtigkeits-, Wind- und Stromfläche angesehen werden.

Nun betrachte man die Strömung im Punkte A! Die Komponente der Dichtestromung sei A D, die der Windstromung A W. Ein Wasserpartikel in A gelangt mithin an die vierte Ecke des Parallelogrammes nach S. Nach der »Flächen«theorie würde es jedoch sich in der Richtung des Pfeils bewegen und etwa nach E gelangen. Hier findet sich also auch bei den die besonderen Schwierigkeiten eliminierenden Voraussetzungen die auf S. 21 gemachte Beobachtung wieder, daß der mit Hilfe der Mohnschen Flächen berechnete Strom gegen den mittels des Kräfteparallelogramms konstruierten nach rechts abgelenkt ist.

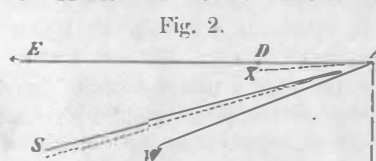


Auf S. 19 haben wir es als selbstverständlich betrachtet, daß die mit Hilfe der Windfläche konstruierten Strömungen mit den vom Wind erzeugten identisch sind. Hier zeigt sich aber, wenn wir den Kreis d A als Isohypse der Windfläche ansehen, daß die aus der Windfläche gefolgerte Strömung die Richtung A E hat, während die zur Konstruktion der Windfläche benutzte, auf direktem Wege gefundene Strömung in der Richtung A W zog.

Beiläufig ergibt sich, wenn wir einmal ganz von den Stromrichtungen absehen, auf theoretischem Wege noch ein Ergebnis über die Geschwindigkeiten, das mit unserem Resultat nicht in Einklang steht. Ist A W die Größe der Wind-, A D die der Dichtestromkomponente, so muß die der Stromgeschwindigkeit entsprechende Größe  $A E = A D + A W$ , also auf jeden Fall größer als A S sein, welch letztere Strecke als dritte Dreiecksseite kleiner als die Summe der beiden anderen ist. Wir dagegen fanden für die mittels der Stromfläche berechneten Geschwindigkeiten durchweg kleinere Größen als mit der Konstruktion nach dem Kräfteparallelogramm. Für diese Erscheinung habe ich eine Erklärung nicht zu finden vermocht.

Unsere Aufgabe beschränkt sich also darauf, der Ursache der Verschiedenheit in den Ergebnissen bezüglich der Stromrichtung nachzuspüren. Wenn wir uns auch keineswegs zutrauen, über diese Frage bereits das entscheidende Wort sprechen zu können, so dürften die folgenden Erörterungen vielleicht den Weg zu deren Lösung ebnen.

Zunächst kam mir der Gedanke, die Strömung zieht nicht genau in der Richtung der Linien gleicher Erhebung (vgl. S. 18), sondern weicht ein wenig nach links ab. Dieselbe Annahme wäre dann auf die Dichtestromungen zu übertragen. Letzteres deckt sich gut mit der bei der Theorie der Dichtigkeitsfläche von Mohn und Engelhardt erörterten Tatsache, daß eine solche Oberfläche eine Bewegung des Oberflächenwassers vom Rand nach der Mitte hin hervorrufen muß. Halten wir also an der Richtung der Ober-



flächen- und Dichtestromung A E und A D ein wenig nach links bis A X (Fig. 2) und konstruieren gleichzeitig für diese veränderte Lage die Oberflächenströmung nach dem Satz vom Parallelogramm der Kräfte, so finden wir, daß dieselbe so lange von der mittels der Stromfläche gefundenen abweicht, bis sie beide und ebenfalls A S mit A W zusammenfallen. Dann wäre also A W die Richtung des Wind-, Dichte- und Oberflächenstromes.

Eine zweite mögliche Annahme wäre die: A W sei zwar die Wind-, aber nicht die Windstromrichtung, sondern die Strömung sei gegen die Windrichtung nach rechts abgelenkt. Ich bemerke, daß sowohl Mohn als auch Wegemann von einer Ablenkung der Windtrift ganz absehen. Nach den Beobachtungen auf dem Adlergrund beträgt dort die Rechtsablenkung durch die Erdrotation  $28^\circ$  im Mittel,<sup>1)</sup> ist also doch bedeutender, als man früher anzunehmen geneigt war. Beachtet man, daß dieselbe mit der Breite wächst, so dürfte man nicht weit fehlgehen, wenn man sie für die hier in Betracht kommende Breite von etwa  $45^\circ = W A E$  setzt. Alsdann würde die Windströmung in die Richtung der Dichtestromung fallen und also auch der Oberflächenstrom dieselbe Richtung haben. Dieser Fall würde also der bisher gehandhabten Methode der Berechnung des Oberflächenstromes aus der Stromfläche entsprechen.

Vielleicht ist eine mittlere Lage die richtige, wo also Dichte-, Wind- und Oberflächenstrom etwa in die Richtung A X fallen. Doch muß ich mich auf die bloße Andeutung dieser Möglichkeit beschränken, da eine eingehende Untersuchung aller hier in Betracht kommenden Faktoren zu weit führen würde.

<sup>1)</sup> Dinklage: Die Oberflächenströmungen im südwestlichen Teil der Ostsee und ihre Abhängigkeit vom Winde. Nach den Beobachtungen an Bord des Feuerschiffs „Adler-Grund“. Ann. d. Hydr. usw. 1888, S. 1.

## Lebenslauf.

Ich, Emil Walther Wissemann, evangelischer Konfession, wurde am 26. März 1880 zu Boppard am Rhein als Sohn des verstorbenen Rentners Richard Otto Wissemann und seiner gleichfalls verstorbenen Gattin Bertha, geborene Wolferts, geboren. Mein Wohnort ist Kiel.

Nach verschiedenartiger Vorbildungszeit auf der Volksschule und dem Progymnasium zu Boppard sowie der Rektoratschule zu Neviges trat ich Ostern 1892 in die Quarta der Realschule, damaligen Gewerbeschule zu Barmen ein, woselbst ich Ostern 1896 das Zeugnis zum einjährig-freiwilligen Dienst erwarb. Nachdem ich darauf die erforderlichen Kenntnisse der lateinischen Sprache mir durch Privatunterricht angeeignet hatte, trat ich in die Obersekunda des Realgymnasiums zu Barmen ein. Auf dieser Anstalt bestand ich Ostern 1900 das Abiturientenexamen.

Im Sommersemester 1900 bezog ich die Universität Halle (1 Sem.), im Wintersemester 1900/01 war ich in Bonn (1 Sem.), und vom Sommersemester 1901 an studierte ich in Kiel (9 Sem.). Das philosophische Doktorexamen bestand ich am 11. November 1905.

Meine akademischen Lehrer waren:

In Halle: Dorn.

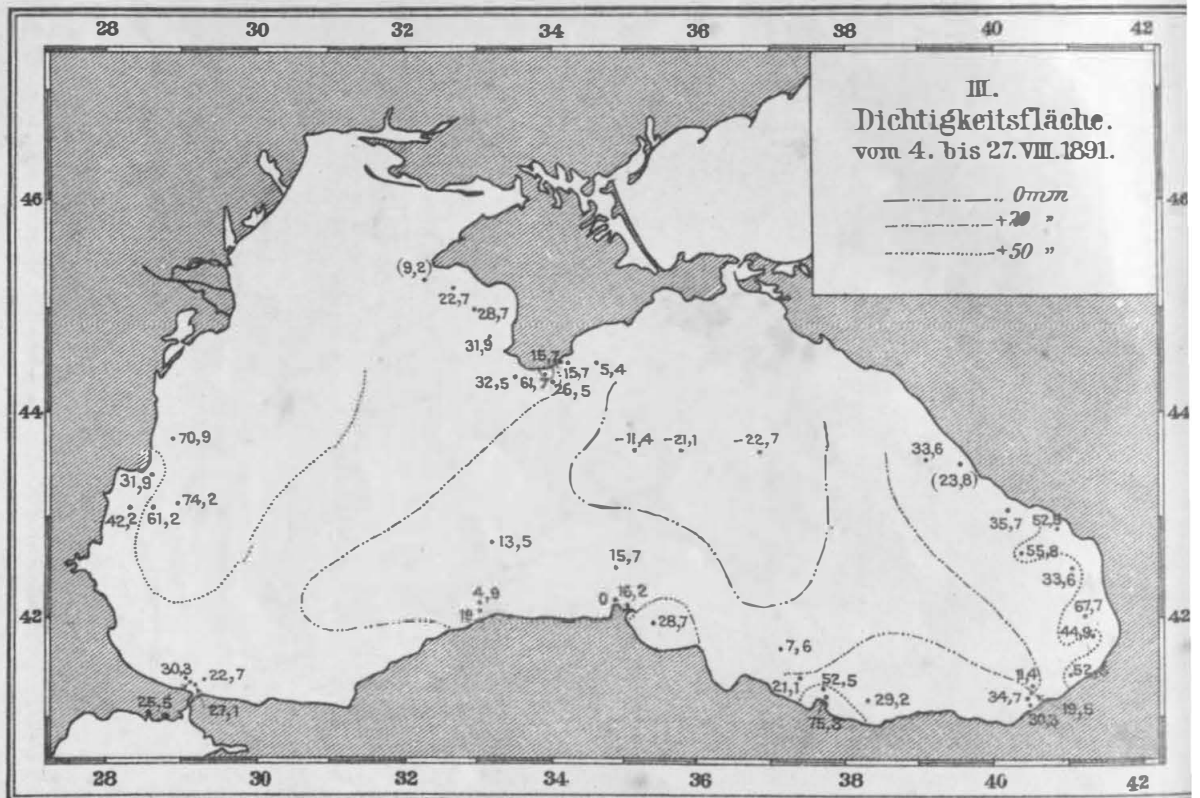
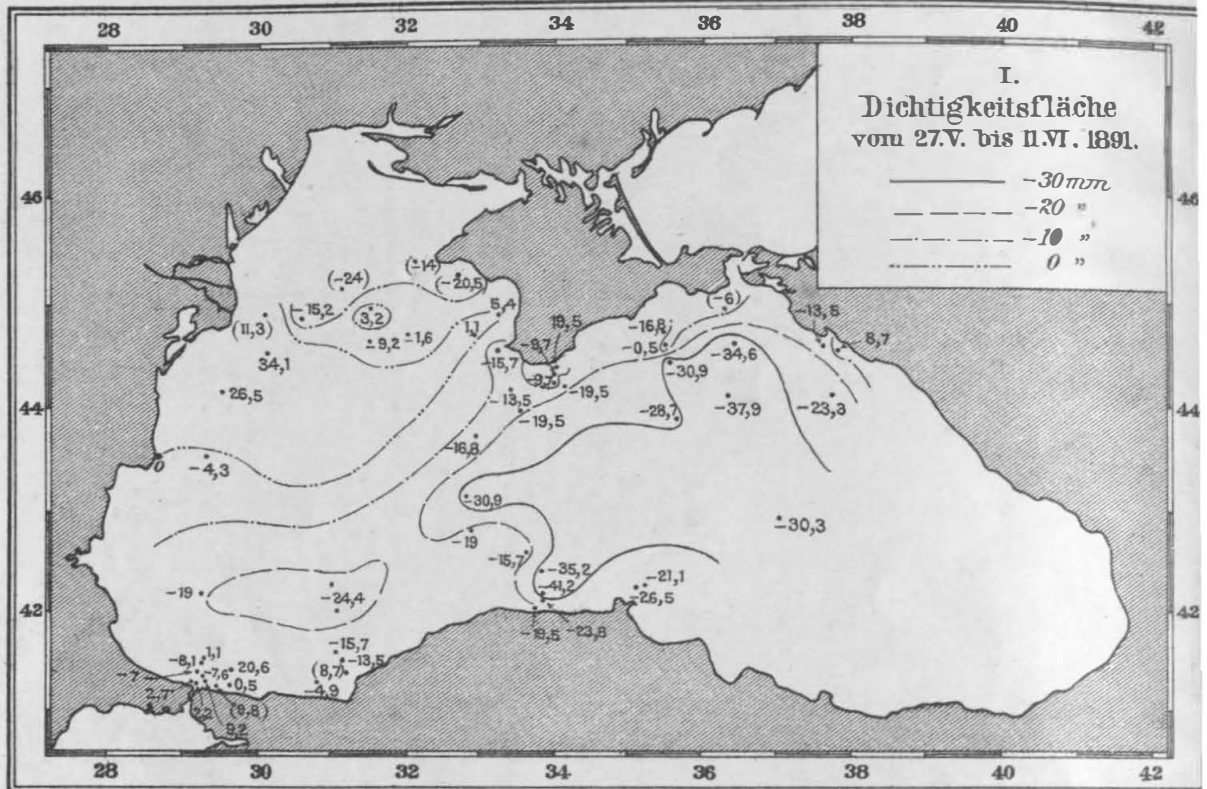
In Bonn: Baeumker, Heffter, Kayser, Rein, Weinel.

In Kiel: Adickes, Adler, Baumgarten, Deussen, Eckert, Haas, Krümmel, Lehmann, Lenard, Martius, Pochhammer, Stäckel, Weber, Weinoldt, Wolff.

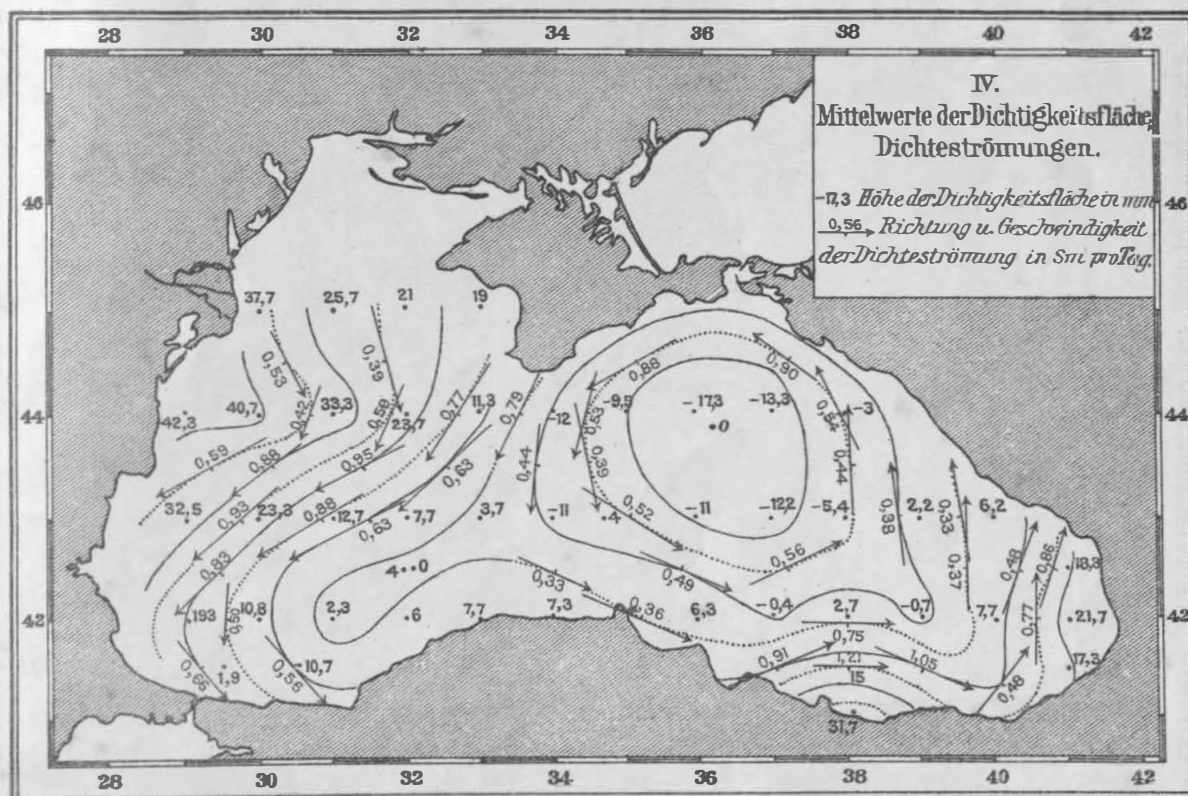
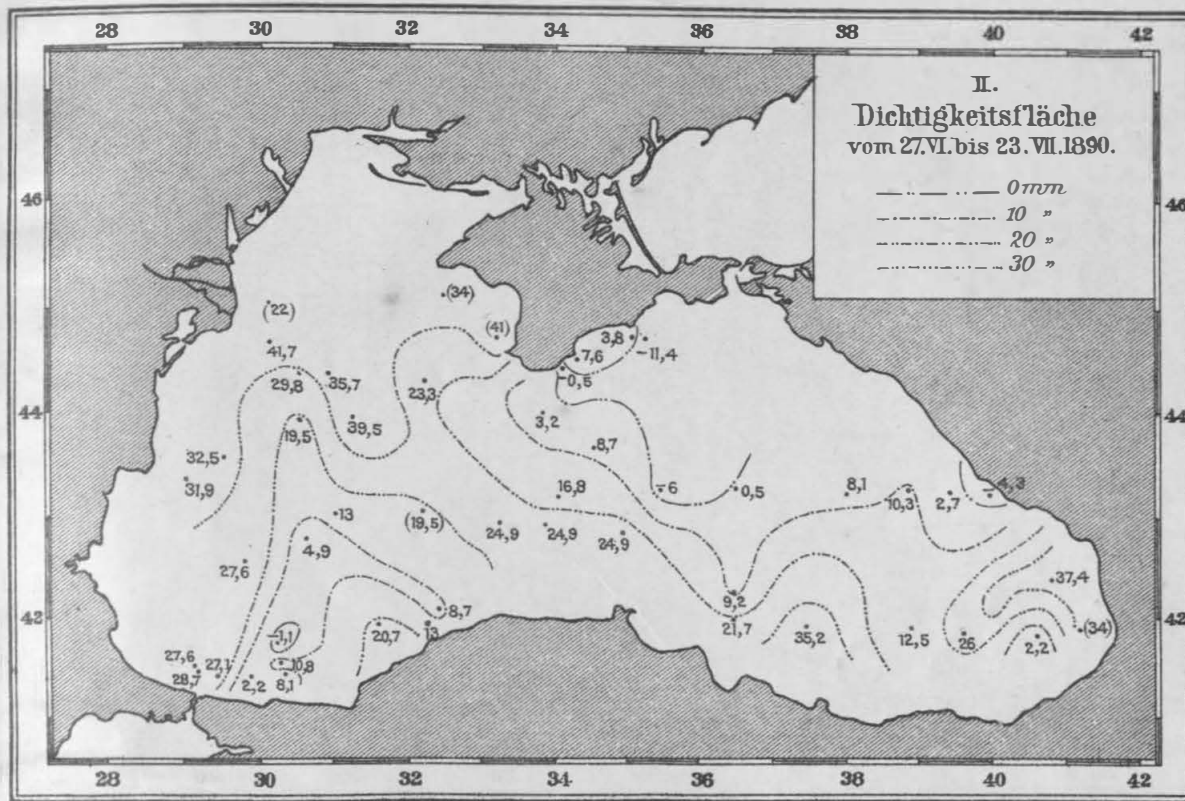
Allen meinen hochverehrten Lehrern spreche ich für die wissenschaftliche Förderung, die mir durch ihre Kollegien und Seminarübungen zu teil wurde, meinen tiefgefühlten Dank aus, insonderheit Herrn Prof. Dr. O. Krümmel für die Anregung zu vorliegender Arbeit sowie für die mancherlei freundlichen Winke, mit denen er mich während des Fortgangs derselben unterstützte.

W. W.

# Die Oberflächenströmung







W. Wis  
Die Oberflächenströmung

